



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2019 • Труды конференции



О.М. Атаева, В.А. Серебряков,
Н.П. Тучкова

**Расширение предметной области
информационного запроса на основе
онтологии знаний цифровой
библиотеки LibMeta**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П. Расширение предметной области информационного запроса на основе онтологии знаний цифровой библиотеки LibMeta // Научный сервис в сети Интернет: труды XXI Всероссийской научной конференции (23-28 сентября 2019 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2019. — С. 63-75. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2019/theses/12.pdf> doi:[10.20948/abrau-2019-12](https://doi.org/10.20948/abrau-2019-12)

Размещена также [презентация к докладу](#)

Расширение предметной области информационного запроса на основе онтологии знаний цифровой библиотеки LibMeta

О.М. Атаева¹, В.А. Серебряков¹, Н.П.Тучкова¹

¹*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва, ул. Вавилова, 40*

Аннотация. Обсуждаются возможности расширения поискового запроса при наличии тезауруса предметной области. Роль контекста, задаваемого связями терминов тезауруса, заключается как в уточнении запроса, так и в увеличении масштабов выборки по запросу. Особое значение процесс расширения запроса имеет для научных предметных областей, где поиск опирается на специальную терминологию. В этом случае необходимо использовать тезаурусы предметных областей, чтобы минимизировать появление информационного шума. Предлагаемый подход позволяет учитывать особенности применения аналогичной терминологии в различных предметных областях. Примеры использования тезауруса отдельных разделов уравнений математической физики и смежных областей демонстрируют эффективность выбранного подхода исследований. Благодаря связям с понятиями информационных ресурсов других областей знаний, расширение информационного запроса захватывает поисковые поля отдаленных предметных областей и различных типов данных, текстов, символьных, звуковых и видео архивов. Исследования показывают, что расширение запроса на основе семантики контекста улучшает качество поиска научных публикаций в цифровой информации и повышает эффективность научных междисциплинарных исследований.

Ключевые слова: сравнение научных текстов, семантический поиск, тезаурус для онтологии знаний, информационный запрос с помощью тезауруса, LibMeta.

Expansion of subject domain of retrieval due to knowledge ontology of digital library LibMeta

O.M.Ataeva¹, V.A.Serebryakov¹, N.P.Tuchkova¹

¹*Dorodnicyn Computing Center FRS «Computer Sciences and Control», Russian Academy of Sciences, Vavilov str., 40, Moscow, 119333, Russia*

Abstract. The possibilities of expanding an information retrieval due to thesaurus of the subject domain are discussed. The role of the context defined by the thesaurus term relationships is to refine the retrieval as well as to increase the sample size on demand. Of particular importance is the process of expanding the retrieval is for scientific subject areas, where the search is based on a special terminology. In this case, it is necessary to use subject-thesauruses to minimize the appearance of information noise. The proposed approach allows taking into account the peculiarities of the use of similar terminology in various subject areas. Examples of the use of the thesaurus of separate sections of equations of mathematical physics and related fields demonstrate the effectiveness of the research approach chosen. Thanks to communications with concepts of information resources of other fields of knowledge, expansion of an information retrieval occupies search fields of the remote subject domains and various types of data, texts, symbolical, sound and video of archives. Researches show that expansion of inquiry on the basis of semantics of a context improves quality of search of scientific publications in digital information and increases efficiency of scientific cross-disciplinary research.

Keywords: comparison of scientific texts, semantic search, thesaurus for knowledge ontology thesaurus-based information retrieval, LibMeta.

Введение

Исследования в области использования терминов тезауруса в поисковом запросе в контексте повышения эффективности информационных систем ведутся в различных коллективах. Известны многочисленные разработки для приложений в автоматическом реферировании, системах перевода специализированных текстов, обучающих системах и др. Важность и актуальность этих исследований определяется возрастающим потоком цифровых данных и разнообразию их типов, необходимостью работы с научной информацией, особенностями предметных областей (ПО) в междисциплинарных исследованиях. Особый круг задач рассматривается в проблеме *расширения поискового запроса*. Средства расширения запроса позволяют *уточнять запрос* с помощью подсказок пользователю, сужая поле поиска с помощью дескрипторов тезаурусов, и использовать имеющиеся связи терминов (синонимов, аббревиатур и т.д.) *увеличивая поле поиска*, и получая тем самым дополнительный информационный шум. Эти два процесса находятся в противоречии, но в итоге приводят к получению пертинентного результата, то есть удовлетворяющего информационный запрос пользователя.

Разработки в этом направлении ведутся довольно давно, и многие информационные системы допускают расширение запроса. В работе [1], приводятся результаты, свидетельствующие, что *привлечение синонимов* из базы WordNet, *не связанных с контекстом*, не улучшают качество информационного запроса. И только привлечение технологии *прописывания "вручную" семантических связей* позволяет расширить запрос до полезного информационного поля, но, естественно, что таким образом не удастся охватить сколько-нибудь значительное количество связей. В итоге возникает необходимость сформулировать *задачу автоматического учета семантических связей*, что возможно *при наличии соответствующего тематике тезауруса*. Особенную трудность уточнения и расширения информационного запроса представляет *процесс поиска научной информации*, поскольку основу для поиска составляет использование специальной терминологии и связей, задаваемых логикой ПО. Сложность составляет также *иерархическая система представления научных данных*, когда появляется *проблема установления горизонтальных связей между понятиями* [2]. На примере ПО задач математической физики и смежных областей предлагается показать, как расширение запроса на основе тезауруса LibMeta может улучшать результаты поиска.

Особенности метода расширения информационного запроса

Расширение информационного запроса (Query expansion¹) предполагает *переформулирование исходного запроса* с целью улучшения результата поиска. Этот процесс непосредственно связан с *пониманием* предмета поиска как со стороны пользователя (уровень компетентности в некоторой ПО), так и со стороны информационно-поисковой системы (наличие информационных и функциональных средств расширения и уточнения).

Расширение запроса включает такие *методы*, как:

- поиск и использование синонимов для слов из запроса и также поиск новых синонимов;
- поиск и использование семантических связей с другими словами. Это могут быть, например, антонимы (противоположные по смыслу), меронимы (части слов), гипонимы (видовые понятия), гиперонимы (родовые понятия);
- поиск и использование всех различных морфологических форм слов из поискового запроса;
- фиксация ошибок правописания и автоматический поиск исправленной или предложенной словоформы;
- переназначение смысловой нагрузки слов в оригинальном запросе.

Предлагается подход, основанный на *учете смежных областей* благодаря ассоциативным связям терминов тезауруса. Ранее была предложена *технология пополнения тезауруса адресата*, тезауруса по обыкновенным

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Query_expansion

дифференциальным уравнениям и уравнениям смешанного типа [3-4]. Это технология для осведомленного пользователя. Если пользователь недостаточно знаком с ПО, то любая информация может быть (или не быть) *пополнением тезауруса адресата*. Расширение поискового запроса для такого пользователя может служить полезной подсказкой в процессе поиска. Рассматриваются варианты онтологии *одной ПО* и онтологий *различных ПО*.

Расширение запроса для одной предметной области. В качестве примеров демонстрируется процесс поиска математических публикаций. Эти примеры характерны тем, что в тезауусе математических ПО термины довольно часто сопровождаются формулами, символьным представлением терминов. На примере рис.1 показано увеличение полей поиска научных публикаций за счет *связей терминологии смежных областей и переформулирования запроса*.

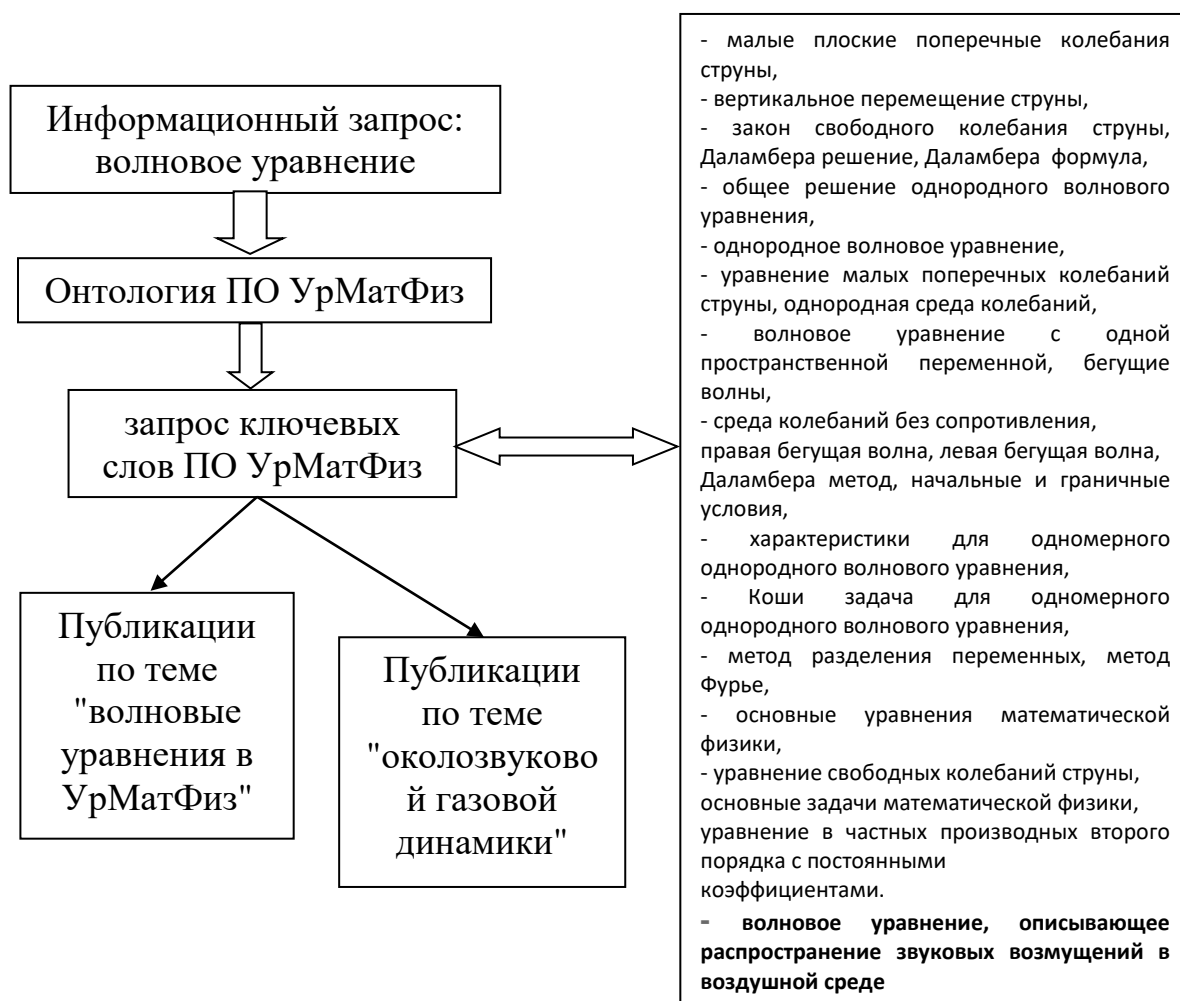


Рис. 1. Схема расширения запроса для смежных предметных областей

Известно, что одни и те же явления, встречающиеся в естественных науках, поддаются моделированию в различных областях знаний, при этом могут использоваться идентичные (аналогичные) символьные выражения. Например, "волновое уравнение" используется при моделировании различных

технических процессов. Запись волнового уравнения практически везде одна и та же. По цепочке связей тезауруса уравнений математической физики можно легко перейти к поиску из массивов литературы по одной ПО к другой. В примере рис. 1 показано как от формулировки запроса по теме "волновое уравнение" осуществляется переход к формулировке по теме "околозвуковая газовая динамика". Другой пример: "уравнение Трикоми" из раздела "уравнений смешанного типа" также имеет многочисленные приложения от описания задач "магнитогидродинамических течений" до задач "околозвуковой газовой динамики" из одной более общей ПО "уравнений математической физики" (УрМатФиз). Этих примеров можно найти неограниченное количество, поскольку УрМатФиз, как предметная область, появилась для моделирования физических и технических процессов, т.е. имеет множество приложений и смежных областей. Их информационные образы в поисковых системах могут быть охвачены благодаря возможностям расширенных запросов.

Расширение запроса для различных предметных областей. Особое значение имеет процесс расширения запроса при интеграции большого объема информации из различных ПО и распределенных источников. Имея онтологии ПО, можно организовать поиск с расширением запроса в различных направлениях, задаваемых цепочками семантических связей.

В рамках разрабатываемой технологии на основе LibMeta[5] проводится интеграция данных из различных областей знаний, представленных в виде предметных онтологий. В частности, энциклопедические данные, интегрированные в систему, позволяют использовать ассоциативные связи терминов для расширения информационного запроса вплоть до обращения не только к смежным областям знаний. Схематично история и технология расширения информационно-поискового запроса при наличии онтологий различных ПО отражена на рис.2.

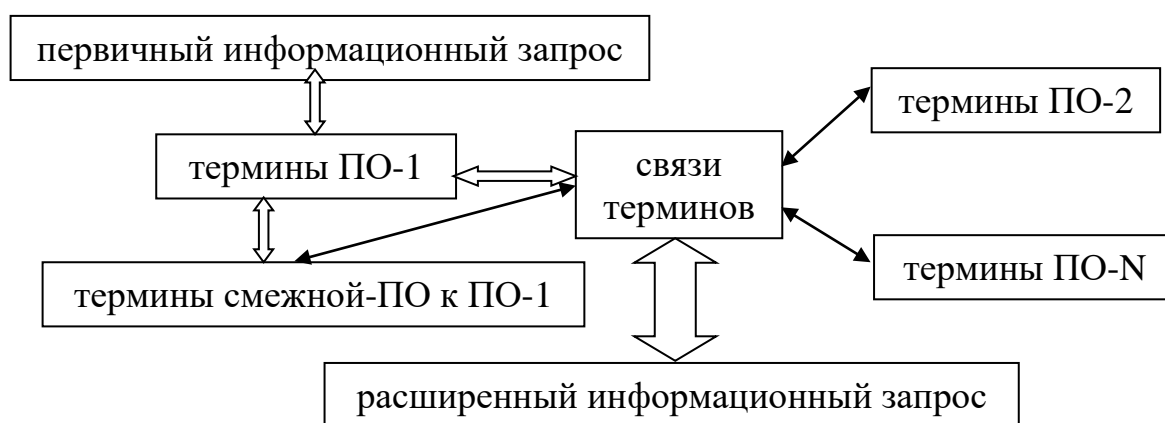


Рис. 2. Схема формирования расширенного информационного запроса для поиска в различных предметных областях

Создание предметных тезаурусов и внедрение этих знаний в виде онтологий ПО позволяет предоставлять пользователям информационных систем *расширенные поисковые запросы*. Таким образом, используя связи смежных областей, можно обеспечить переход к *поиску в различных типах* цифровых ресурсов из *различных ПО*. Этот подход реализуется для поиска среди объектов информационной системы, но и за ее пределами, в доступных для интеграции базах данных, где встречаются термины из расширенного запроса.

Преимущества интеграции данных в контексте расширения запроса

На первый взгляд преимущества очевидны, чем больше охват запроса, тем больше информации в качестве результата получит пользователь интегрированной информационной системы. Тем не менее, известно также, что расширение запроса приводит к увеличению информационного шума, что никак нельзя отнести к преимуществам при поиске. Сочетание этих двух особенностей должно принимать некое "оптимальное" значений для того, чтобы услуга расширения поискового запроса составляла полезное свойство информационной системы.

Оптимальные свойства интегрированной системы, обеспечивающие *эффективность расширения информационного запроса*, реализуются благодаря следующим особенностям:

- структуре данных;
- функциональным свойствам;
- возможности "настройки" на ПО пользователя.

Структура данных LibMeta. Онтология описывает ресурсы ПО и их взаимосвязи. Для каждой ПО LibMeta набор ресурсов может отличаться как по формату, так и по набору самих ресурсов.

Для описания библиотеки в LibMeta используется смысловой контент *конкретной* ПО, и понятия, общие для *любой* из них. То есть, предлагается набор понятий, формирующих описание контента библиотеки, достаточно универсальный, для включения в систему конкретной ПО. Такой подход позволяет реализовать средства интеграции данных в рамках библиотеки, адаптируемые под условия любой ПО с учетом ее специфики. Это позволяет решать одну из основных проблем интеграции данных из различных источников, а именно, согласование разнородной цифровой информации.

Понятия онтологии в системе LibMeta, можно условно разделить по функциональному предназначению для следующих целей:

- описание контента ПО;
- формирование тезауруса любой ПО,
- описание тематических коллекций,
- описание задачи интеграции контента библиотеки с данными из внешних источников.

Между этими группами понятий определены семантически значимые связи.

Функциональные особенности системы LibMeta. Семантическая библиотека LibMeta представляет собой информационную систему, в рамках которой задается описание ПО с терминологической поддержкой и с возможностью интеграции данных из разных источников данных, удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к источникам данных в LOD (Linked open data² [6]). Соответствие требованиям может быть *неполным* и это означает, что возможно, требование, касающееся *связанности данных* с другими источниками может не выполняться, но с помощью LibMeta, появляется возможность достаточно просто выполнить его. Для этого от пользователя – эксперта в ПО не требуется специальных технических знаний об используемом для этого стеке технологий LOD.

Перечислим основную функциональность системы:

- создание/просмотр/редактирование информационных ресурсов и их структуры;
- создание/просмотр/редактирование информационных объектов и их структуры;
- подключение источников данных;
- загрузка данных из подключенных источников данных, в дальнейшем становящихся частью контента библиотеки;
- создание/просмотр/редактирование структуры тезауруса поддерживаемой ПО;
- создание/просмотр/редактирование понятий тезауруса
- атрибутный/семантический/полнотекстовый поиск и навигация по доступным информационным объектам системы;
- атрибутный/семантический/полнотекстовый поиск по источникам данных;
- создание/просмотр/редактирование коллекций информационных объектов;

"Настройка" на предметную область пользователя в LibMeta.

Адаптация данных ПО трактуется как "настройка" источников, в которой можно выделить несколько основных этапов:

- *Подключение источника данных S_i .* Каждый источник данных характеризуется соответствующим уникальным *URL*-адресом и некоторым набором параметров, необходимых для доступа к данным. Проводится предварительный анализ доступной из источника информации, в частности

² <https://www.ontotext.com/knowledgehub/fundamentals/linked-data-linked-open-data/>

определяются *типы его ресурсов и их свойства*, участвующие в интеграции. Результатом этого первого этапа становится определение той части схемы источника S_i , по которой будут извлекаться данные.

- Определение *типов ресурсов библиотеки LibMeta*, соответствующих *типам ресурсов источников*. Для каждого ресурса источника, определенного его схемой, извлеченной на этом этапе, ставится в соответствие ресурс библиотеки LibMeta. Результатом этого этапа становится *установление связи* между ресурсом библиотеки и ресурсом источника с помощью соответствующей операции, которая декларирует, что существуют экземпляры этих ресурсов, соответствующие одному и тому же объекту *реального мира*. На базе определенных (выявленных) связей на следующем этапе проходит отображение атрибутов.
- Для каждого ресурса LibMeta определяется отображение атрибутов на соответствующие им свойства ресурса источника данных. В первую очередь строится отображение для идентифицирующих атрибутов, являющихся обязательными, затем для остальных. *Для каждой такой пары определяется тип связи и определяется набор операций*.

Благодаря такому построению отображения получаем *набор правил*, по которым можно представить каждый *найденный объект в источнике* в рамках понятий библиотеки LibMeta и, соответственно, позволить сохранить его *метаданные в локальном хранилище* по требованию пользователя, либо просто *сохранить связь* между найденным объектом в источнике и объектом в библиотеке.

Интеграция данных различных предметных областей. Формальная модель процесса интеграции данных из различных ПО может быть представлена следующим образом.

Исходя из основных понятий LibMeta, модель контента библиотеки G представляет собой:

- множество ресурсов $R = \{r_j\}$,
- множество атрибутов $A = \{a_i\}$,
- набор атрибутов $N(r) \subset A$, то есть $r_j(a_1, \dots, a_n)$, $a_n \in N(r)$, определенный для каждого ресурса.

В каждый набор атрибутов входят, *идентифицирующие атрибуты*, $I(r) \subset N(r) \subset A$, используемые для однозначной идентификации информационных объектов этого ресурса.

Формально подсистема интеграции I_T представляется тройкой $\langle G, \{S_i\}, \{M_i\} \rangle$, где G – предварительно определенная модель контента, состоящая из множества ресурсов R и их описаний в виде набора атрибутов $N(r)$, S_i – схема i -го источника подключенного к системе, M_i – отображение i -го источника, $1 \leq i \leq n$, где n количество источников данных.

Использование источника данных может происходить по двум сценариям:

1. в режиме проставления связей с имеющимися в библиотеке объектами,
2. в режиме атрибутивного поиска по источнику данных в рамках заданного отображения.

При этом сохранение данных об объектах из источников может быть выполнено двумя способами:

1. *связывание* – этот способ идентичен по смыслу проставлению связи «смотри также» и означает, что на одном конце содержится более полная и обширная информация по ресурсу.
2. *идентификация* – этот способ идентичен по смыслу проставлению связи «такой же как» и означает, что на одном конце содержится точно такой же по качеству информации объект, как и с другой.

В связи с гибкостью модели контента библиотеки предполагается возможным сценарий создания дополнительных типов ресурсов для подключаемых источников, информацию из которых можно использовать как значения некоторых атрибутов основных ресурсов.

Схему ресурса как источника данных S , так и контента, библиотеки G можно представить в виде графа (рис. 3), который включает *объекты* и *отношения*.

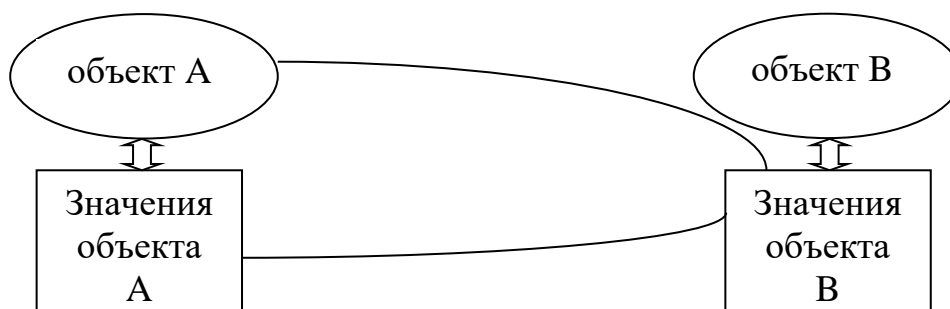


Рис. 3. На схеме линии представляют примеры связей "значение-значение" и "объект-значение" при отображении ресурсов из источников

Каждый объект может быть связан отношением с другим объектом, значения которого представлены простыми типами данных (*строки, числа, даты*) или отношениями с другими объектами, значения которых соответствуют некоторым ресурсам. При этом для *отображения ресурса* мы можем использовать *его представление* Z_s , то есть выбрать не полный набор его атрибутов и отношений с другими объектами для отображения на схему G . При этом *представление* Z_s должно обязательно включать в себя набор атрибутов, значения которых позволяют однозначно идентифицировать объект в системе.

Благодаря описанному подходу, структура тезауруса может гибко настраиваться для произвольных ПО. В этом смысле понятия тезауруса могут

иметь *мультидисциплинарный характер*. И, в силу указанных связей, содержать указание на смежную область науки или явную ссылку на понятия тезауруса смежной ПО. Также для каждого понятия может указываться, например, соответствующий код УДК и/или любого другого рубрикатора науки и использоваться наряду с другими как *средство расширения запроса*. Это позволяет *уточнять семантику связанных ресурсов* и использовать ключевые слова экземпляров ресурсов и термины тезауруса как ключевые слова соответствующих рубрик используемых рубрикаторов. Помимо *основных понятий в тезаурусе можно ввести дополнительные категории*, поддерживающие возможность сохранения дополнительной информации. Для этого в тезаурусе могут вводиться связи с ресурсом библиотеки, а именно, в структуре понятия тезауруса могут быть предусмотрены дополнительные соответствующие атрибуты.

Пример эффективного расширения информационного запроса в LibMeta. Рассмотрим механизм использования парадигматических связей на примере ПО «задачи математической физики для уравнений смешанного типа». Заметим, что индексирование статей ключевыми словами применяется достаточно давно. Использование математических формул стало применяться сравнительно недавно, что связано с развитием современных программных средств.

На примере понятия тезауруса "уравнения Трикоми" покажем преимущества уточнения запроса при использовании формул. Наиболее распространенная запись для уравнения Трикоми, это $u_{xx} + u_{yy} = 0$, остальные, составляют, "с точки зрения тезауруса", *формулы-синонимы* (так же как и все записи, аналогичные приведенной с точностью до обозначений). Этой формулой индексирована, в частности работа [7].

Попытаемся найти публикации, которые также посвящены этой тематике. Делаем поисковый запрос, содержащий выражение: $u_{xx} + u_{yy}$, и получаем список публикаций, связанных с задачей Трикоми, хотя сам термин в поисковом запросе не использовался. Поиск производится по данным извлеченным из присоединенных источников

В силу специфики данных нам не удалось найти источник данных в LOD для осуществления демонстрации возможностей LibMeta в области интеграции данных с такими источниками. Поэтому мы промоделировали эту ситуацию и выбрали в качестве гипотетического источника из LOD свой локальный источник данных. Наполнением этого источника является массив данных об авторах и публикациях из MathNet³, который накопился у нас в рамках совместной работы. Этот массив хранится в виде RDF – троек⁴.

³ <http://www.mathnet.ru>

⁴ <https://www.w3.org/RDF/>

В результате поиска, в том числе получаем список авторов, которые работают в этой области (например, Ю.М.Крикунов, Г.Л.Алфимов, Richard H., Cushman, Larry M. Bates и др.), а также получаем возможность отследить семантическую сеть связей этой формулы в рамках тезауруса, а также в публикациях, представленных в библиотеке, и их авторов.

При необходимости можно расширять раздел ссылок соответствующей статьи-формулы указателя и расширить описание тезауруса. Ссылки на найденные публикации и авторов можно включить в статьи указателя, где встречаются формулы-синонимы, поиск по которым в данном случае не проводился. Так, через связи реализуется процесс пополнения тезауруса для ПО. В результате в библиотеке LibMeta появятся новые данные о публикациях, и пользователь библиотеки при запросе получит новый список публикаций по теме "уравнения Трикоми". Делая запрос по этой теме, пользователь также получит полную информацию о семантических связях формулы, которая будет включать ссылки на формулы-синонимы, что особенно важно для специалиста.

Заключение

Развитие онтологического представления научных предметных областей способствует повышению эффективности поисковых запросов и научных исследований в целом. Учет ассоциативных связей терминов тезауруса позволяет делать выборку не только по смежным областям, но по цифровым массивам различных областей знаний, не увеличивая при этом поисковый шум. Эти выводы вполне ожидаемы, проблемы, обсуждаемые в работе актуальны с точки зрения объединения онтологий отдельных областей знаний. Сама эта проблема слияния онтологий представляет собой нетривиальную задачу, как с технологической, так и методологической точки зрения. Этот процесс может привести к качественному возрастанию времени обработки запроса и методологическим противоречиям, характерным для различных научных школ и направлений науки. В приведенных примерах в основном используются данные математических предметных областей, как характерные для расширения запроса за счет использования формул в смежных областях, что, естественно, не ограничивает расширение запроса на другие интегрированные в LibMeta предметные области. В проекте реализованы связи с любыми источниками, удовлетворяющих требованиям LOD, и идет информационное наполнение и тестирование связей с лингвистической базой данных и математической энциклопедией. Исследования в данном направлении составляют предмет дальнейшей работы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты № 17-07-00217а, 18-00-00297комфи, 17-07-00214.

Литература

1. Voorhees E.M. Query expansion using lexical-semantic relations. In SIGIR 94 page 61-69. ACM 1994.
2. Golden P., Shaw R., Buckland M. Decentralized coordination of controlled vocabularies // Proceedings of the American Society for Information Science and Technology. Annual Meeting, October 31- November 4, 2014, Seattle, WA, USA . 2014 DOI: 10.1002/meet.2014.14505101146 77th ASIS&T.
3. Муромский А.А., Тучкова Н.П. Об онтологии адресата в математической предметной области // Ж. Электронные библиотеки, 2018. Т. 21. № 6. С. 506-533.
4. Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П. О тезаурусе предметной области смешанные уравнения математической физики // CEUR Workshop Proceedings. 2018. Vol. 2260. P. 395-405. <https://doi.org/10.20948/abrau-2018-43>.
5. Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П. Подходы к организации математических знаний при формировании предметных тезаурусов различных разделов математики // CEUR Workshop Proceedings. 2018. Vol. 2260. P. 42-54. ISSN:1613-0073. <https://doi.org/10.20948/abrau-2018-66>.
6. Bizer C., Heath T., Berners-Lee T. // Linked Data – The Story So Far // International Journal on Semantic Web and Information Systems. 2009. Vol. 5 (3). URL: <https://eprints.soton.ac.uk/271285/1/bizer-heath-berners-lee-ijswis-linked-data.pdf>. doi:10.4018/jswis.2009081901.
7. Моисеев Е.И., Лихоманенко Т.Н. Собственные функции задачи Трикоми с наклонной линией изменения типа // Дифференциальные уравнения. 2016. Т. 52, № 10, С. 1375-1382.

References

1. Voorhees E.M. Query expansion using lexical-semantic relations. In SIGIR 94 page 61-69. ACM 1994.
2. Golden P., Shaw R., Buckland M. Decentralized coordination of controlled vocabularies // Proceedings of the American Society for Information Science and Technology. Annual Meeting, October 31- November 4, 2014, Seattle, WA, USA . 2014 DOI: 10.1002/meet.2014.14505101146 77th ASIS&T.
3. Muromskij A.A., Tuchkova N.P. Ob ontologii adresata v matematicheskoj predmetnoj oblasti // Zh.Elektronnye biblioteki, 2018. T. 21. № 6. S. 506-533.
4. Moiseev E.I., Muromskij A.A., Tuchkova N.P. O tezauruse predmetnoj oblasti smeshannye uravneniya matematicheskoj fiziki // CEUR Workshop Proceedings. 2018. Vol. 2260. P. 395-405. <https://doi.org/10.20948/abrau-2018-43>.
5. Ataeva O.M., Serebryakov V.A., Tuchkova N.P. Podhody k organizacii matematicheskikh znanij pri formirovanii predmetnyh tezaurusov razlichnyh

- razdelov matematiki // CEUR Workshop Proceedings. 2018. Vol. 2260. P. 42-54. ISSN:1613-0073. <https://doi.org/10.20948/abrau-2018-66>.
6. Bizer C., Heath T., Berners-Lee T. // Linked Data – The Story So Far // International Journal on Semantic Web and Information Systems. 2009. Vol. 5 (3). URL: <https://eprints.soton.ac.uk/271285/1/bizer-heath-berners-lee-ijswis-linked-data.pdf>. doi:10.4018/jswis.2009081901.
 7. Moiseev E.I., Lihomanenko T.N. Sobstvennye funkcii zadachi Trikomi s naklonnoj liniej izmeneniya tipa // Differencial'nye uravneniya. 2016. T. 52, № 10, S. 1375-1382.